

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора Ловейкіна Вячеслава Сергійовича на дисертаційну роботу Михайлишина Романа Ігоровича «Обґрунтування параметрів та орієнтації струминного захоплювача маніпулятора для автоматизації вантажо-розвантажувальних операцій», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.05 – піднімально-транспортні машини.

1. Актуальність теми дисертації, її зв'язок з науковими програмами, планами та темами

Створення нових й удосконалення існуючих конструкцій транспортно-технологічних механізмів, роботів та маніпуляторів сприяє подальшому розвитку машинобудівного виробництва та підвищенню продуктивності праці.

Розвиток засобів автоматизації машинобудівного виробництва передбачає використання промислових роботів та маніпуляторів як для виконання технологічних, так і вантажо-розвантажувальних, транспортних та складських операцій. Роботизація виробництва приводить до підвищення продуктивності та покращення якості продукції, а також знижує її собівартість.

Проте при створенні роботизованих систем основною проблемою є зменшення енерго- та матеріальних ресурсів, які мають значний вплив на ефективність виробництва та навколишнє середовище. Крім того, набувають немаловажного значення методи структурного синтезу та методики проектування робочих органів (захватних пристроїв) роботів та маніпуляторів в конкретних умовах виробництва. Тому підвищення ефективності використання робототехнічних комплексів в машинобудівному та інших видах виробництва є актуальним завданням.

Однією з основних задач при автоматизації вантажо-розвантажувальних операцій є визначення мінімально необхідної сили утримання вантажу захватними пристроями роботів та маніпуляторів. Вирішення цієї задачі дасть можливість значно зменшити загальне споживання енерго- та матеріальних ресурсів на виробництві.

Разом з тим, наукові та практичні питання щодо зниження енерго- та матеріальних витрат на утримання вантажів захватними пристроями та підвищення надійності їхнього утримання майже не досліджувались. Тому тема дисертаційної роботи щодо зменшення енерговитрат та розробки моделей взаємодії струминного захоплювального пристрою (СЗП) та вантажу є досить актуальною.

Основні наукові дослідження за темою дисертаційної роботи виконувались згідно до тематики наукового напрямку Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя при виконанні НДР ВК55-16 «Розробка моделей для оптимізації орієнтації кисті промислового робота» (№ державної реєстрації 0116U005075), а також Національної стипендіальної програми Славацької Республіки для підтримки обміну студентів, аспірантів, викладачів вузів і науковців проведені експериментальні дослідження за темою

дисертації у Словацькому технічному університеті в Братиславі (Національний центр робототехніки). Результати досліджень опубліковані за підтримки грантів Req – 00347-0001, VEGA1/0065/16, APVV-16-0006 і VEGA 1/0752/17.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, наведених у дисертаційній роботі, їх достовірність і новизна, повнота викладу у наукових фахових виданнях

Наукові положення, теоретичні та практичні висновки та рекомендації, які викладені в науковому дисертаційному дослідженні, є достовірними та належним чином обґрунтованими.

Математичні моделі динамічних процесів взаємодії захватного пристрою з вантажем описано на базі загальних принципів та законів класичної механіки. Теоретичні дослідження динамічних процесів взаємодії струминного захоплювача ежекційного типу з вантажем проведено шляхом використання умови рівноваги вантажу з урахуванням усіх діючих сил та моментів, включаючи сили інерції, відносно системи координат, зв'язаної з захватним пристроєм. Розроблено методику аналітичного дослідження динаміки системи струменний захватний пристрій – вантаж.

Експериментальні дослідження проведено із застосуванням загальних методик та використанням математичних методів оптимального планування багатofакторних експериментів. Опрацювання результатів експериментальних досліджень здійснювалося статистичними методами за допомогою програмних пакетів аналізу даних.

Автором на високому рівні і у достатньому обсязі проведені теоретичні та експериментальні дослідження, розроблені відповідні розрахункові теоретичні та експериментальні методики оцінки забезпечення динамічної взаємодії струминних захватних пристроїв з вантажем при його транспортуванні по прямолінійній та гвинтовій траєкторіях і визначено його оптимальну орієнтацію для мінімізації енергоспоживання, що враховує зміщення центра мас і силу лобового опору вантажу.

Достовірність отриманих у дисертації результатів підтверджується вмільм використанням математичного апарату, обґрунтованістю прийнятих припущень, впровадженням одержаних результатів в інженерну практику проектування руху та зміни орієнтації захватного пристрою для мінімізації енергоспоживання, відповідністю результатів теоретичних та експериментальних досліджень.

На основі системного підходу до динамічної взаємодії струминного захватного пристрою з вантажем під час його руху та переорієнтації для мінімізації енергоспоживання в роботі отримані суттєві наукові результати, серед яких найважливішими є:

- вперше запропоновано математичну модель динамічної взаємодії струминного захоплювального пристрою з вантажем при його транспортуванні по гвинтовій траєкторії, яка враховує відцентрові сили та дозволяє визначити необхідну силу утримання вантажу;

- вперше визначено оптимальну орієнтацію струминного захоплювального пристрою в процесі транспортування вантажу, що враховує діючі на нього сили та

дозволяє мінімізувати енергетичні затрати при виконанні вантажо-розвантажувальних операцій;

- удосконалено математичну модель динамічної взаємодії струминного захоплювального пристрою з вантажем при його транспортуванні по прямолінійній траєкторії, яка враховує зміщення центра мас вантажу та вплив сили лобового опору повітря та дозволяє підвищити точність обчислень при моделюванні завантаження габаритних об'єктів;

- удосконалено теоретичні залежності для розрахунку мінімальної необхідної сили утримання вантажу, що враховують його масу, габарити, параметри руху та дозволяють визначити експлуатаційні характеристики струминного захоплювального пристрою.

Основні положення дисертаційної роботи й результати дослідження опубліковано у 16 наукових працях, з яких 7 статей у фахових наукових журналах та збірниках наукових праць, 3 з яких опубліковані в журналах, що входять до міжнародних наукометричних баз Scopus, Web of Science та IEEE Xplone Digital Library, 2 – деклараційні патенти України на корисні моделі, 7 – тез наукових та науково-технічних конференцій.

Результати досліджень автором достатньо апробовані на Міжнародних та Всеукраїнських науково-технічних конференціях.

3. Значимість дисертації для науки і практики

На основі розроблених математичних моделей динамічної взаємодії струминного захоплювача з вантажем при його транспортуванні по прямолінійній та гвинтові траєкторіях визначено його оптимальну орієнтацію, яка дозволяє мінімізувати енергоспоживання. Запропоновані динамічні моделі динамічної взаємодії струминного захоплювача з вантажем дозволили дослідити вплив масо-габаритних характеристик вантажу, параметрів базових елементів захоплювача та режимів руху на мінімально необхідну силу утримання вантажу.

Запропоновані методи та методики розрахунків дозволяють визначити ряд конструктивних та експлуатаційних характеристик, необхідних при проектуванні струминних захоплювачів та інших захоплювачів утримуючого та підтримуючого типів. Метод оптимізації орієнтації захватного пристрою під час виконання маніпулятором вантажо-розвантажувальних операцій дозволяє знизити енергетичні затрати на утримання вантажу в процесі транспортування. Запропоновано конструктивні схеми пневматичних захватних пристроїв, які забезпечують підвищену вантажопідйомність та стабільність утримання вантажу в процесі транспортування, які підтверджені двома деклараційними патентами України.

Результати роботи впроваджено в ПАТ «Булат» (сmt.Микулинці Тернопільської обл.) при автоматизації процесів завантаження плоских заготовок у фрезерний верстат з ЧПК. Прогнозований річний економічний ефект від впровадження складає 26355 грн.

4. Оцінка змісту роботи в цілому

Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, загальних висновків і додатків. Роботу викладено на 185 сторінках, яка містить 102 рисунки, 8 таблиць з текстом, список використаних джерел із 130 найменувань на 13 сторінках, з яких 53 іноземною мовою та додатки на 16 сторінках.

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету, об'єкт, предмет та задачі досліджень, які розв'язуються в роботі. Окреслено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Наведено інформацію щодо апробації, структури та обсягу роботи.

У першому розділі висвітлено сучасний стан досліджень з проблеми, показано її актуальність та наведено результати огляду літературних джерел. Проаналізовано сучасний стан конструкцій захоплювальних пристроїв роботів і маніпуляторів. Наведено практику захоплення вантажів та їхнього транспортування роботами та маніпуляторами.

Проаналізовано дослідження з оптимізації режимів руху промислових роботів і маніпуляторів, які були започатковані ще у 80-х роках минулого століття. Встановлено, що основним параметром під час програмування промислових роботів на виробництві є впровадження методів орієнтації, які знижують енергетичні витрати на транспортування вантажу. Існуючими дослідженнями приділено значну увагу питанням оптимізації траєкторії руху хватного пристрою, проте не проводилась оптимізація орієнтації кінцевої ланки маніпулятора під час транспортування вантажів з метою зменшення енергетичних витрат. Виходячи з цього, вирішення питань моделювання динамічної взаємодії захоплювального пристрою з вантажем та визначення його оптимальної орієнтації під час транспортування представляють практичний інтерес і є актуальними в даному напрямку.

Проведено аналіз захоплювальних пристроїв, з якого встановлено, що серед захоплювачів утримуючого типу найбільше переваг мають струминні захоплювальні пристрої, тому їх рекомендовано як основні захоплювачі для роботів і маніпуляторів.

Слід звернути увагу на те, що в цьому розділі проведено аналіз режимів руху, які описуються поліномами включно до третього порядку, однак існуючі режими руху сучасних роботів описуються поліномами і більш високих порядків.

В другому розділі проведені теоретичні дослідження динамічної взаємодії струминного захоплювального пристрою з вантажем в процесі транспортування. Отримано умови рівноваги, що враховують діючі сили та моменти відносно системи координат, зв'язаної зі струминним захоплювальним пристроєм при горизонтальній та гвинтовій траєкторіях. При цьому для габаритних вантажів запропоновано враховувати силу лобового опору повітря.

В якості оптимального режиму руху вантажу по горизонтальній траєкторії обрано швидкісний режим у вигляді трапецеподібної форми, де вантаж на ділянці розгону рухається рівноприскоренню, на ділянках гальмування рівносповільнено, а на ділянці усталеного руху з постійною швидкістю. Такий режим забезпечує максимальну продуктивність транспортування вантажу. Разом з тим, при різкому зростанні та спаданні прискорень можуть виникати коивальні процеси в приводах

та механічній частині руки та кісті маніпулятора. Тому ці процеси бажано було б врахувати при розробці математичної моделі взаємодії струминного захватного пристрою з вантажем.

Запропонований метод оптимізації орієнтації полягає в розділенні прямолінійної траєкторії на окремі ділянки: розгону, переорієнтації з попередньої орієнтації, орієнтація, яка необхідна для ділянки усталеного руху, ділянки транспортування вантажу зі сталою швидкістю, переорієнтація з попередньої ділянки і закінчується процес руху ділянкою уповільнення. Оптимальна орієнтація струминного захватного пристрою забезпечується тоді, коли вісь захвату направлена в протилежному напрямку до вектора рівнодійної всіх сил, що діють на вантаж. Встановлено умови, які визначають оптимальний кут орієнтації та мінімальної сили, яка необхідна для транспортування вантажу.

Визначено також оптимальну орієнтацію захватного пристрою при русі по гвинтовій траєкторії. При розв'язуванні цієї задачі автором для визначення орієнтації захватного пристрою досить вдало використані кути Ейлера, що значно спростило розв'язування поставленої задачі. Отримані рівняння дозволяють визначити оптимальну орієнтацію захватного пристрою в кожний момент часу руху, яка забезпечує мінімально необхідну силу притягування впродовж всього часу транспортування.

В третьому розділі проведені експериментальні дослідження впливу параметрів транспортування на силові характеристики. Наведено методичку експериментальних досліджень та їхній статичний аналіз. Дослідження проведені на базі «Національного центру робототехніки Словацької Республіки» в Словацькому технічному університеті (м.Братислава). Дослідження проведені на сучасному обладнанні з використанням відповідної вимірювальної апаратури та інструментів.

Отримані експериментальні результати підтверджують адекватність побудованих математичних моделей.

В цьому розділі доцільно було спочатку навести програму експериментальних досліджень і на її базі розробляти методичку та підібрати необхідне обладнання.

В четвертому розділі досліджено енергоефективність вантажо-розвантажувальних операцій на базі струминних захоплювальних пристроїв. Проаналізовано вплив масо-габаритних характеристик вантажу, параметрів руху та фрикційних елементів на силові та енергетичні характеристики струминних захоплювачів. Встановлено вплив коефіцієнта тертя між фрикційними елементами захвату та вантажу на мінімально необхідне зусилля притягання.

Проведено порівняння транспортування вантажу з оптимізацією орієнтації та без переорієнтації для різних методів захоплення вантажу, з якого робиться висновок, що найменші затрати енергії відповідають способу захоплення за нижню горизонтальну площину. На наш погляд це очевидно, оскільки в цьому випадку вантаж утримується за рахунок сил тертя, що створюється вагою вантажу. Використання методу оптимізації орієнтації захвату дозволило знизити енергетичні затрати на 15...54%.

В п'ятому розділі розроблені методи підвищення вантажопідйомності пневматичних захоплювальних пристроїв та забезпечення стабільності утримання вантажу. Запропоновано нові конструкції пневматичних захватних пристроїв, що забезпечують стабільність утримання вантажу із зміщеним центром мас, які захищені патентами на корисні моделі. Встановлено, що стабільне утримання вантажів залежить від взаємного розміщення фрикційних елементів захватного пристрою та координат центру мас вантажу. Стабільність утримання вантажу досягається шляхом регулювання взаємного розміщення фрикційних елементів струминного захоплювача. При безконтактному методі утримання вантажу стабільність досягається шляхом створення кількох зон взаємодії між струминним захоплювальним пристроєм і поверхнею вантажу та максимального їхнього розсосередження.

В цьому розділі було б доцільно розширити область використання струминних захоплювальних пристроїв в складі роботів і маніпуляторів в різних галузях виробництва.

5. Відповідність автореферату основним положенням дисертації

Зміст автореферату у достатній мірі відображає основні положення та результати дисертаційної роботи, висновки в дисертації та авторефераті повністю ідентичні, В авторефераті наведено список праць за темою дисертації із зазначенням внеску автора у працях написаних у співавторстві, а також висвітлені анотації у необхідному обсязі. Зміст, обсяг та оформлення автореферату відповідають встановленим вимогам.

6. Характеристика загальних висновків та рекомендацій

Наведені в дисертаційній роботі висновки та рекомендації є достовірними та належним чином обґрунтовані. Для цього автором проведені необхідні теоретичні та експериментальні дослідження.

Теоретичні дослідження взаємодії струминних захоплювальних пристроїв роботів і маніпуляторів з вантажем при горизонтальній та гвинтовій траєкторіях руху з орієнтацією та без орієнтації захвату при різних параметрах руху виконані з використанням основних положень системного підходу, фундаментальних положень теоретичної механіки, зокрема аналітичної механіки, математичного аналізу, математичної фізики та сучасних чисельних методів розрахунку математичних моделей. Експериментальні дослідження проводились на сучасному обладнанні з використанням промислового робота IRB4600 на спеціально розробленому оснащенні з комп'ютерною системою керування режимами руху та використанням методів планування багатofакторного експерименту і статичного аналізу.

Положення дисертації обговорені на наукових конференціях. Результати досліджень достатньо повно відображені в публікаціях у фахових та зарубіжних виданнях. Технічна новизна запропонованих захоплювальних пристроїв підтверджена патентами України.

За результатами досліджень автором дисертації зроблено 7 висновків:

1. Проаналізовано конструкції захоплювальних пристроїв та методи планування траєкторій при виконанні маніпуляторами вантажорозвантажувальних операцій, що дало можливість визначити умови стабільного утримання вантажу та встановити мету та задачі досліджень. Достовірність висновку підтверджується патентами України на струминні захоплювальні пристрої.

2. Запропоновано математичну модель динамічної взаємодії захоплювального пристрою з вантажем при його транспортуванні по прямолінійній траєкторії. Висновок підтверджується проведеними розрахунками та експериментами і зменшенням мінімально необхідного зусилля утримання вантажу до 45% при оптимальній орієнтації захоплювача.

3. Запропоновано математичну модель динамічної взаємодії захоплювального пристрою з вантажем при його транспортуванні по гвинтовій траєкторії з урахуванням відцентрових сил. Висновок підтверджується проведеними розрахунками та експериментами і зменшенням енергетичних витрат до 41% при оптимальній орієнтації захоплювача.

4. Одержано залежності впливу маси і зміщення центра мас вантажу на мінімальну необхідну силу його утримання. Висновок підтверджується проведеними розрахунками та експериментами і зменшенням необхідного зусилля утримання вантажу на 90% при збільшенні коефіцієнта тертя між поверхнями захоплювального пристрою та вантажем.

5. Проведено експериментальні дослідження процесу транспортування з використанням запропонованого методу оптимізації орієнтації захоплювального пристрою. Висновок підтверджує адекватність побудованих математичних моделей динамічної взаємодії струминних захоплювальних пристроїв з вантажем.

6. Досліджено енергоефективність процесу транспортування вантажу з використанням струминних захоплювальних пристроїв. Висновок підтверджується проведеними розрахунками та експериментами і зменшенням енергетичних витрат до 54% при використанні методу орієнтації захвату при транспортуванні вантажів по заданій траєкторії в залежності від схеми вантажорозвантажувальної операції.

7. Розроблено рекомендації по застосуванню методу оптимізації орієнтації струминного захоплювача та розрахунку його конструктивних параметрів. Висновок підтверджується впровадженням у виробництво запропонованих пристроїв та методів їхньої оптимальної орієнтації при транспортуванні по заданій траєкторії. Річний економічний ефект від впровадження у виробництво на ПАТ «Булат» становить 26355 грн.

7. Основні зауваження по роботі

1. В першому розділі дисертаційної роботи доцільно було б більше уваги приділити методам оптимізації орієнтації захоплювальних пристроїв при транспортуванні вантажів по різних траєкторіях.

2. На рис.1.2 наведені приклади кубічного полінома для положення, швидкості та прискорення. Більше інформації можна було отримати, якщо показати закони зміни швидкості та прискорення при кубічному поліномі зміни

положення або закони зміни положення та прискорення при кубічному поліномі швидкості, або закони зміни положення та швидкості при кубічному поліномі прискорення.

3. Трапецевидний закон зміни швидкості руху захватного пристрою з вантажем при максимально можливих абсолютних значеннях прискорення та уповільнення забезпечує мінімальну тривалість переміщення вантажу або максимальну продуктивність при транспортуванні. Разом з тим, такий закон руху не є оптимальним з позицій динаміки, оскільки тут має місце миттєва зміна прискорень ривків і, як наслідок, можуть виникнути коливання робочого обладнання та вантажу, що може вплинути на зусилля та енергетичні витрати утримання вантажу. Тому доцільно враховувати вплив закону руху робочого обладнання на величину зусилля утримання вантажу. Аналогічна картина має місце при переорієнтації захватного пристрою.

4. Постійна переорієнтація захватного пристрою з вантажем приводить до додаткових витрат енергії. Тому тут доцільно розв'язувати оптимізаційну задачу, яка дозволила б знайти мінімальні сумарні енергетичні витрати.

5. На основі яких досліджень встановлено, що при заданих швидкостях переміщення вантажу сила лового опору повітря пропорційна квадрату швидкості (формули (2.16) – (2.18)).

6. Висновок до третього розділу, що основним параметром, який впливає на оптимальну орієнтацію, а отже і на мінімальну необхідну силу притягання буде прискорення і уповільнення під час захопленням пристроєм вантажу є досить тривіальним, бо в цей час на вантаж діє саме сила інерції, яка пропорційна прискоренню та уповільненню.

7. В деяких випадках з тексту дисертації не зовсім зрозуміло, з яких умов складено те або інше рівняння, наприклад рівняння (5.3), або отримана та або інша формула, наприклад формула (5.4).

8. На с.158 написано, що для транспортування вантажу на 1м необхідно вибирати робот з робочою зоною більше 1м, але не вказано на скільки більше доцільно вибирати робочу зону.

9. Інколи автор використовує одиниці вимірювання, які не відповідають системі SI (див.с.26).

10. В тексті дисертації зустрічаються деякі описки, невдалі звороти та неточності (див.с.12,24,42, 88 тощо.)

Висновок про відповідність дисертації встановленим вимогам

Дисертація Михайлишина Романа Ігоровича «Обґрунтування параметрів та орієнтації струминного захоплювача маніпулятора для автоматизації вантажорозвантажувальних операцій», є завершеним науковим дослідженням.

Зазначені вище недоліки не знижують наукового та практичного рівня дисертаційної роботи і не впливають на позитивну оцінку в цілому. Зміст і структура роботи відповідають паспорту спеціальності 05.05.05 – «Піднімально-транспортні машини».

Проведені дослідження, що відображені в роботі, авторефераті та публікаціях засвідчують, що дисертаційна робота Михайлишина Р.І. розв'язує важливі наукові задачі оптимізації орієнтації кінцевої ланки маніпулятора та розсосередження зон взаємодії захоплювального пристрою з поверхнею вантажу з метою зниження енергоспоживання струминним захоплювачем та підвищення стабільності утримання ним вантажів.

Дисертаційна робота виконана на високому науковому рівні, вона актуальна, містить наукову новизну та має важливе практичне значення, за змістом та отриманими результатами відповідає паспорту спеціальності. Основні положення дисертації належним чином опубліковані та апробовані. Дисертаційна робота відповідає вимогам «Положення...» МОН України, які висуваються до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.05 – «Піднімально-транспортні машини», а її автор Михайлишин Роман Ігорович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.05.05 – «Піднімально-транспортні машини».

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри конструювання машин
і обладнання Національного університету
біоресурсів природокористування України

Ловейкін В.С.

